

# 気温メッシュデータによる路面温度予測の広域化検討

藤本明宏\*1 中島知幸\*1 佐藤賢治\*1  
徳永ロベルト\*1 高橋尚人\*1 石田樹\*1

## 1. はじめに

路面温度は冬期道路管理を行う上で欠かせない情報であり、その予測モデルは様々な研究機関で開発されている。最近の当テーマの研究動向は路面雪氷状態・すべり摩擦係数予測への発展およびモデルの広域化である。予測モデルは統計的手法と物理的手法に大別され、本研究では物理的手法に着目する。なお、統計的手法はモデルの構築に必ず気象と路面温度測定を伴う長期の野外観測が必要であり、汎用面に課題がある。一方、物理的手法は場所を選ばないが、多くのパラメータを要するなどモデルが複雑になりやすく、容易に開発はできない。代表的な物理的手法を用いたモデルとして、Chapman and Thornes<sup>1)</sup>および齊田ら<sup>2)</sup>の研究が挙げられる。Chapman and Thornes<sup>1)</sup>のモデルは定点の路面温度予測に路面からの天空画像を用いて建物による日射の遮蔽を考慮することで路面温度路線分布 (Thermal Map: TM) の計算を可能にした。一方、齊田らのモデル<sup>2)</sup>は路面上の熱・物質収支を基本とした多地点同時路面温度解析によって予測範囲を点から線・面に拡張したものであり、現在、計算の高速化について研究が継続されている。当研究所では、Chapman and Thornes<sup>1)</sup>のモデルを参考に熱収支による定点路面温度予測に計測TMを組み合わせることで、TMを予測するモデル (以下、路面温度推定モデル) を構築した (2章に詳述)<sup>3)</sup>。しかしながら、Chapman and Thornesのモデルと同様にこのモデルは、走行試験が必須となり、その労力とコストの負担が対象エリアの拡大、さらにはモデル普及の障害となっている。なお、現在の当研究所モデルの予測延長は約600 kmであり、これまでのモデル開発におよそ10年費やした。参考までに北海道の国道総延長は約6700 kmである。

このように、いずれのモデルも技術的あるいは実務的な課題があり、依然として冬期道路管理に広く普及するに至っていない。そこで本研究では、近年の気象メッシュ予報の空間分解能の精緻化 (1 km) に着目し、気象メッシュを用いた路面温度予測モデルの広域化について検討してきた。本論文では、気象メッシュを用いた路面温度予測の広域化手法を提案するとともに、気温と路面温度の相関性および提案する手法の推定精度について記載する。

## 2. これまでの研究

### 2.1 路面温度推定モデル

当研究所では、気象予報データから路面温度および路面状態を予測する手法 (路面凍結予測手法、特許第4742388号) をこれまでに開発した。路面凍結予測手法は、路面温度推定モデル<sup>3)</sup>と路面状態推定モデル<sup>4)</sup>から構成される。

図1に路面温度推定モデルの概念を示す。本モデルは、気温、風速、相対湿度、大気放射量、日射量などの気象条件や交通量を入力条件に路面の熱収支を解析して路面温度を出力する。路面温度推定モデルおよびその理論の詳細については参考文献3)を参照されたい。

本研究では取り上げないが、参考までに路面状態推定モデルの概要を以下に記載しておく。路面状態推定モデルは、道路テレメータ地点のみであるが、路面温度に加えて路面状態 (乾燥、湿潤、シャーベット、圧雪、アイスバーン等) を予測できる。

こうした路面凍結予測手法によって科学的・定量的に路面温度や路面状態を知ることが可能になった。これらの情報は道路管理者の意志決定を支援し、適切な冬期道路管理の実施に活用されている。

### 2.2 路面温度路線分布の作成 (従来の広域化手法)

写真1は計測TM作成ための走行試験の様子である。同写真に示されるように、車体の前部に放射温度計を取り付け、走行しながら路面温度を計測し、この計測データを基に計測TMは作成される。計測は日射の影響を受けない夜間に実施される。一回あたりの計測延長は時間的な

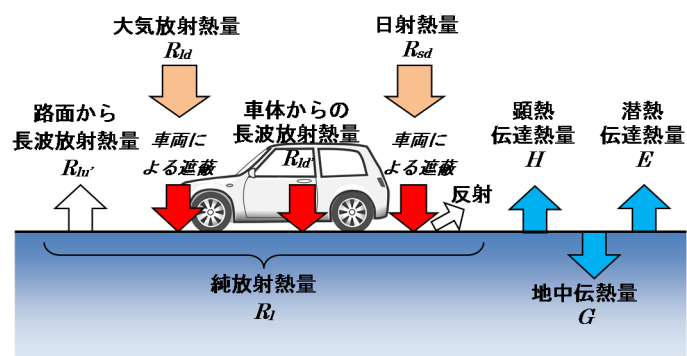


図1 路面温度推定モデルの概念図

\*1 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地交通チーム



写真1 計測 TM 作成のための走行試験の様子

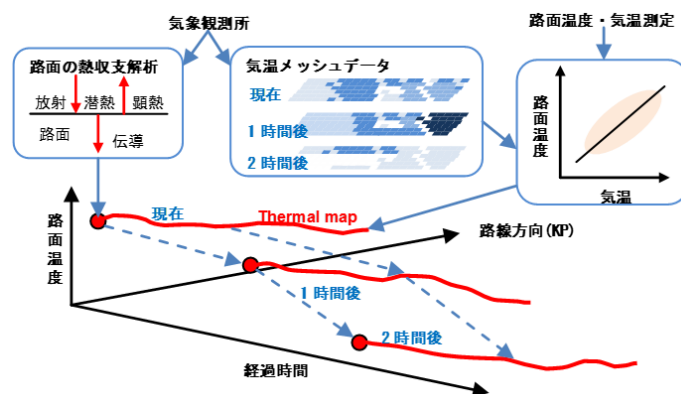


図3 気象メッシュを用いた路面温度予測の広域化手法の概念図

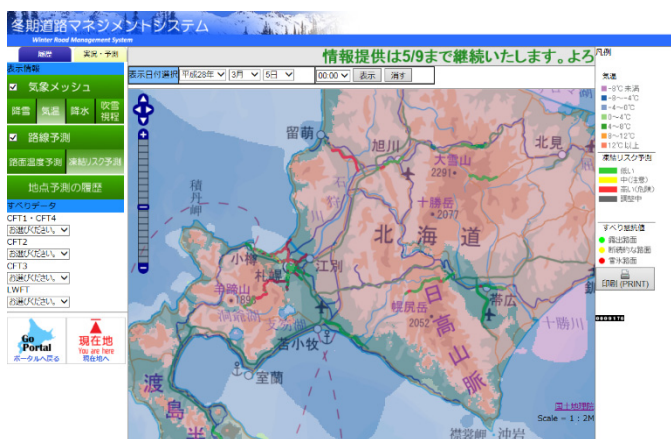


図2 冬期路面管理支援システムの画面

気象変化の影響を受けないように長くても40 km程度とした。

TMの予測では、路面温度推定モデルによって予測される定点の路面温度を基準として、この定点と同じ地点のTMの路面温度を合わせ、定点の路面温度の変動に合わせてTMも変動させる。このようにしてTMは予測される。

### 2.3 冬期道路マネジメントシステム

路面温度推定モデルによる予測情報は、試行運用ではあるが、冬期道路管理の効率性向上の支援を目的に冬期道路マネジメントシステム（図2）によって道路管理者に提供されている。

当該システムは、冬期路面管理支援システムと冬期路面すべり抵抗モニタリングシステムの2つのサブシステムで構成され、平成17年度から冬期間に情報提供を始めた。提供される情報は、路線温度予測情報の他に、気象予測情報、路線凍結リスク予測情報、定点路面状態予測情報およびCCTVカメラによる道路状況である。気象予測情報は最大6時間先まで、路線温度予測情報、路線凍結リスク予測情報および定点路面状態予測情報は最大16時間先まで、それぞれ閲覧できる。

### 3. 気象メッシュを用いた路面温度予測の広域化手法

図3に気象メッシュを用いた路面温度予測の広域化手法の概念図を示す。本手法では、気温と路面温度の相関式を作成し、気温メッシュから路面温度メッシュへ変換することで、TM（以下、統計TM）を作成する。

以下に、理解しやすいように統計TMの作成方法とそれを用いたTM予測の手順をまとめておく。

- i. 実道での路面温度・気温測定の実施
- ii. 気温と路面温度の相関式作成
- iii. ii.を用いて気温メッシュデータから統計TM作成
- iv. 定点路面温度予測(2.2に記述)
- v. ii.とiv.を組み合わせることでTM予測

### 4. 実道での路面温度・気温測定

測定は2014・2015年の1・2月の平日（約40日×2年）の早朝に行われた。対象路線は図4に示すように一般国道230号の札幌（KP1.0）から中山峠（KP45.0）に至る延長44.0 kmである。同図には、標高Eと日交通量Qについても示す。対象路線の標高は札幌の18 mから中山峠の835 mに向けて高くなる。対象路線の日交通量は札幌の都市部では約4万台/日、小金湯や定山溪温泉の郊外部や山間部では約1万台/日である。

路面温度は写真1に示したように放射温度計を、気温は温度計を、それぞれ使い、いずれも車両に取り付けて走行しながら測定した。

### 5. 気温と路面温度の相関関係

図5に本研究で得られた気温と路面温度の相関関係を示す。同図(a)は延長44.0 kmの全区間における気温と路面温度の相関関係であり、(b)～(f)は郊外区間、山間区間、アンダーパス区間、トンネル区間および橋梁区間に



図4 実道での路面温度・気温測定概要

おける気温と路面温度の相関関係である。(a)の全区間に着目すると、図中に示す赤丸で囲った箇所が全体の傾向から外れている。赤丸内は、後述するが、トンネルおよびアンダーパス区間のデータであり、これらの区間では他と比較して同じ気温であっても路面温度が高い。今回の対象区間には1か所のアンダーパスがあり、ロード

ヒーティングが施されている。(b)および(c)の郊外および山間区間を見ると、いずれも気温と路面温度の決定係数は0.92であり、両者の間には高い相関性が認められる。(d)および(e)のアンダーパスおよびトンネル区間は(b)および(c)の郊外および山間区間に比べて路面温度が2~5℃程度高い範囲に分布していることが確認できる。(f)の橋梁区間は(b)および(c)の郊外および山間区間と大差ない。

## 6. 路面温度路線分布の比較・検証

2016年1月9日夜間を例に測定したTM（以下、TM実測）と計測TMおよび統計TMを用いた予測したTM（以下、計測TM予測、統計TM予測）を比較する（図6）。また、土工部、トンネル、アンダーパスなどの道路構造別の気温と路面温度の相関式を用いて作成した統計TMによるTM予測（以下、統計TM予測'）も併せて示す。今回の例では、計測TM予測はTM実測と概ね一致している。統計TM予測もTM実測よりやや低いものの大差ない。統計TM予測'はTM実測におけるアンダーパスおよびトンネルの区間の温度上昇を概ね再現できた。夜間の計102回の走行試験におけるTM実測と計測TM予測および統計TM予測'の平均二乗誤差RMSEは両者ともに2.3℃で差がなかった。

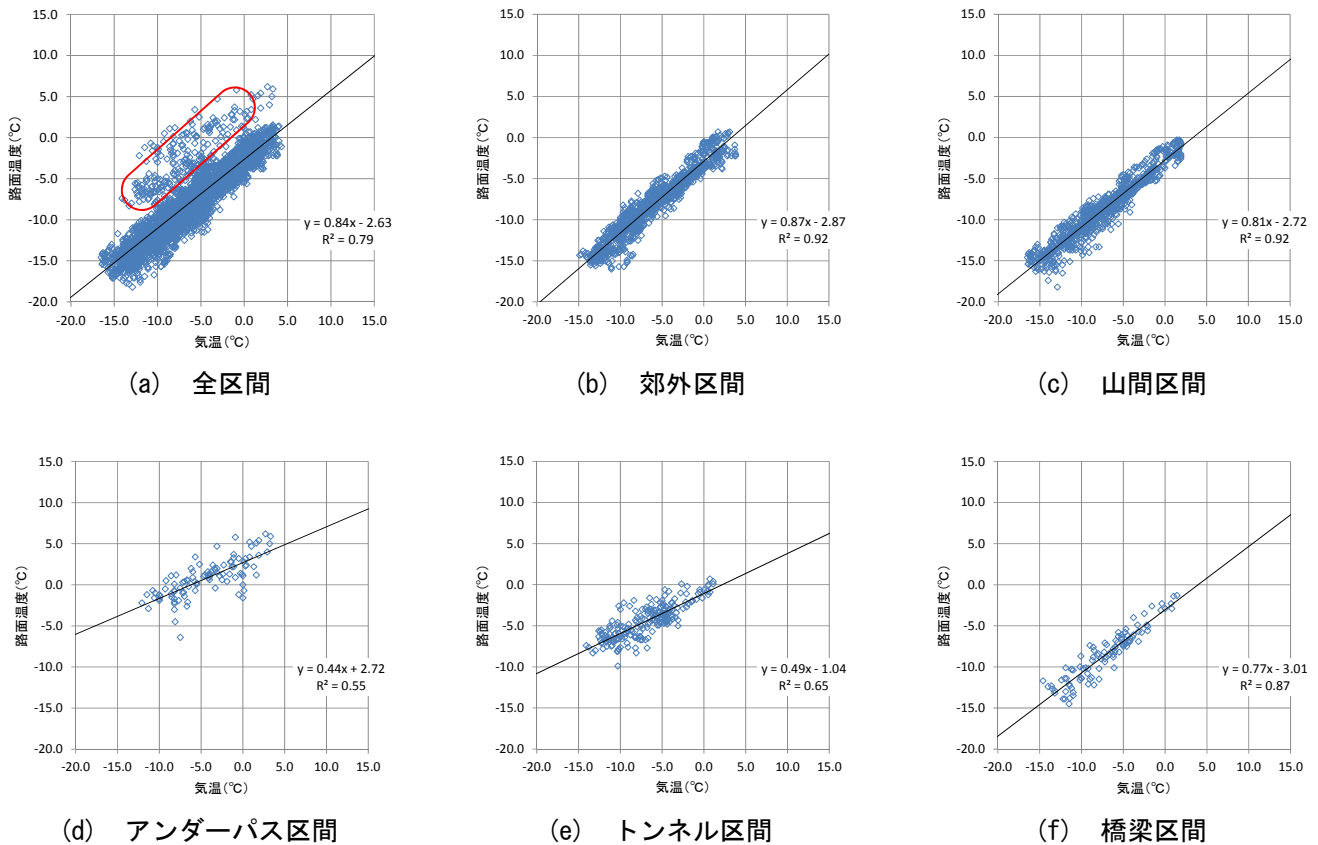


図5 気温と路面温度の相関関係

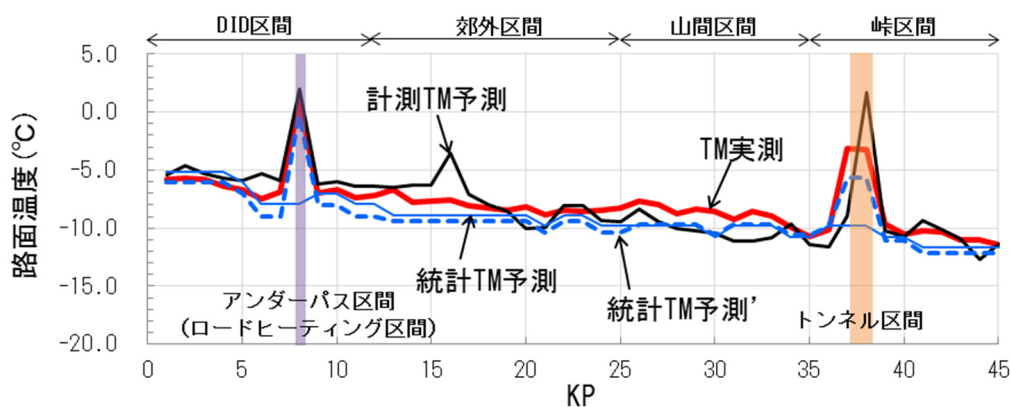


図6 路面温度路線分布の実測値と予測値の比較

## 7. おわりに

本研究により、夜間かつ土工部であれば気温と路面温度の相関性は高く、従来のThermal Mapを用いた場合と同程度の精度で気温メッシュデータを用いて路面温度予測の広域化ができる可能性が示された。今後は、大気放射熱と気温を説明変数とした路面温度の重回帰式を作成し、気象メッシュデータを用いた路面温度予測の精度向上を目指す。また、降雪メッシュデータを入力条件に加えて、路面状態や路面凍結リスクの広域化について検討を始める。

## 参考文献

- 1) Chapman, L. and Thornes, J.E.: A geomatics-based road surface temperature prediction model, Science of The Total Environment, 360, 1-3, 68-80, 2006.
- 2) 齊田光、田中雅人、藤本明宏、寺崎寛章、福原輝幸：広域路面滑りー雪氷状態予測モデル、日本雪工学会論文集、32、1、1-16、2016.
- 3) 高橋尚人、浅野基樹、石川信敬：熱収支法を用いた路面凍結予測手法の構築について、寒地技術論文・報告集、21、201-208、2005.
- 4) Takahashi, N., Tokunaga, R., Sato, T. and Ishikawa, N.: Road surface temperature model accounting for the effects of surrounding environment、雪氷、Vol. 72、No. 6、pp. 377-390、2010.